

**ANALISA LAJU KOROSI PENGELASAN DALAM AIR  
MENGUNAKAN ELEKTRODA LAPISAN RESIN PADA  
BAJA API 5L X65**

**TUGAS AKHIR**

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat sarjana S1 pada  
jurusan teknik mesin universitas sultan ageng tirtayasa**



**Disusun Oleh**

**YUDI KRISNA S.P**

**3331170058**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN  
2024**

## TUGAS AKHIR

**Analisa Hasil Pengesahan Dalam Air Menggunakan Elektroda Lapisan Resin Dengan Metode Laju Korosi Dengan Menggunakan Baja Karbon API 5L X65**

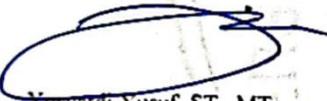
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

**Yudi Krisna Sahputra Pakpahan**  
3331170058

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 02 Juli 2024

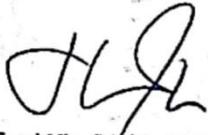
**Pembimbing Utama**

  
Ipick Setiawan, S.T., M.Eng.  
NIP.197705012003121001

  
Yusvardi Yusuf, ST., MT.  
NIP. 197910302003121001

**Anggota Dewan Penguji**

  
Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP.198305102012121006

  
Shofiatul Ula, S.Pd I., M.Eng.  
NIP. 198403132019032009

  
Ipick Setiawan, ST., M.Eng.  
NIP.197705012003121001

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal, 26 Agustus 2024  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

  
Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP. 198305102012121006

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Yudi Krisna Sahputra Pakpahan

NPM : 3331170058

Judul : Analisa Hasil Pengelasan Dalam Air Menggunakan Elektroda Lapisan Resin Dengan Laju Korosi Menggunakan Baja Karbon API 5L X65

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 2 September 2024



**Yudi Krisna .S.P**

**NPM. 3331170058**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pada program Pendidikan (S1) pada Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Skripsi ini berisi pembahasan tentang Analisa Laju Korosi Pengelasan Dalam Air Menggunakan Elektroda Lapisan Resin Pada Baja Api 51 X65. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi tugas akhir ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M. Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Mekro Permana Pinem, ST ,MT., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin FT. UNTIRTA.
3. Dr.Eng. Ir. Agung Sudrajad, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu mengarahkan penulis selama menjalani proses perkuliahan.
4. Bapak Ipick Setiawan S.T., M. Eng, selaku Dosen Pembimbing 1 tugas akhir yang banyak menyalurkan ilmu pengetahuan dan mengimplementasikan kebaikan pada penulis sehingga dapat melakukan penelitian dan penulisan Tugas Akhir.
5. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu memberikan arahan, bimbingan dan inovasi berfikir kepada penulis dalam melakukan penelitian dan penulisan tugas akhir.
6. Ibu Miftahul Jannah, M.T sebagai Koordinator Tugas Akhir yang telah mengabsahkan penulis untuk melakukan Tugas Akhir.
7. Dosen Jurusan Teknik Mesin (JTM) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA) yang telah berkenan untuk terus memberikan ilmu dan pengalamannya kepada penulis.

8. Kedua orang tua Pandapotan Pakpahan dan Katarina yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan materiil, dan do'a dalam penyelesaian
9. Muhammad Daffa Al'aziz yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan pengujian dan penelitian penulis.
10. Tri Yulianto, Nur Pahrul Fauzi, Febry Adviana, Lukman Hakim, dan teman teman Mahasiswa Teknik Mesin 2017 yang selalu memberikan bantuan, dukungan dan menemani penulis dalam suka maupun duka selama proses belajar Program Studi Teknik Mesin UNTIRTA.
11. Fransiskus Manurung, Reyhan Moraliwa Arif dan teman teman Angkatan 2018 yang juga membantu dan memberikan saran kepada penulis guna melancarkan penelitian yang dilakukan penulis.
12. Ibnu, Zulfadli Nasution, Putra Dwijayadi dan teman teman Angkatan 2019 yang memberikan banyak bantuan dan pelajaran kepada penulis dalam menjalankan Program Studi Teknik Mesin UNTIRTA.

Penulis menyadari adanya kekurangan pada penulisan Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang bersifat membangun kesempurnaan penelitian.

Cilegon, 12 Juni 2024

Penulis

## ABSTRAK

### ANALISA LAJU KOROSI PENGELASAN DALAM AIR MENGUNAKAN ELEKTRODA LAPISAN RESIN PADA BAJA API 5L X65

Disusun Oleh:

**Yudi Krisna Sahputra Pakpahan**

**NIM.3331170058**

Salah satu teknik yang digunakan untuk perbaikan perbaikan dalam struktur pipa dan bangunan di laut adalah pengelasan basah bawah air atau *underwater welding*. Faktor panas yang dimasukkan ke dalam proses pengelasan bawah air menyebabkan busur stabil dan metalurgi dipindahkan ke area kampuh sambungan las dan elektrode cair. Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan arus ampere yang bervariasi yaitu 60A, 90A dan 120 A untuk mendapatkan nilai laju korosi yang berbeda pada setiap ampere yang ditentukan. Hasil tersebut yang didapat yaitu semakin besar arus ampere yang diberikan semakin kecil laju korosi yang ada pada spesimen uji. Masing masing hasil korosi pada spesimen uji adalah : spesimen uji dengan menggunakan arus 60A adalah 2.499632 *mpy*, spesimen dengan arus 90A memiliki nilai korosi 1.650078 *mpy* dan spesimen yang menggunakan arus 120A memiliki nilai 0.4435229. dapat disimpulkan bahwa semakin besar arus amper yang diberikan pada spesimen memiliki nilai korosi yang kecil.

**Kata Kunci:** *electrode coating, korosi, ampere, underwater wetwelding,*

## **ABSTRACT**

### ***CORROSION RATE ANALYSIS OF WELDING IN WATER USING RESIN COATING ELECTRODE ON 5L FIRE STEEL***

*Compiled by :*

**Yudi Krisna Sahputra Pakpahan**

**NIM.3331170058**

*One of the techniques used for repair work in pipeline structures and buildings at sea is underwater wet welding. The heat factor introduced into the underwater welding process causes the arc to stabilize and the metallurgy to be transferred to the weld joint seam area and the molten electrode. In this study, researchers used varying amperage currents, namely 60A, 90A and 120 A to get different corrosion rate values at each specified amperage. The result obtained is that the greater the ampere current given the smaller the corrosion rate on the test specimen. Each of the corrosion results on the test specimen is: the test specimen using a current of 60A is 2.499632 mpy, the specimen with a current of 90A has a corrosion value of 1.650078 mpy and the specimen using a current of 120A has a value of 0.4435229. It can be concluded that the greater the amperage given to the specimen has a small corrosion value.*

*Keywords: electrode coating, corrosion, amperage, underwater wet welding,*

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	II
ABSTRAK.....	VI
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR GAMBAR .....	X
DAFTAR TABEL.....	XII
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	42
2.1 <i>State Of Art</i> .....	42
2.2 Pengelasan .....	6
2.3 Bagian Bagian dari Pengelasan.....	7
2.4 Jenis-jenis Sambungan.....	8
2.4.1. Sambungan Tumpul.....	8
2.4.2. Sambungan Sudut .....	8
2.4.3. Sambungan Bentuk T.....	9
2.4.4. Sambungan Tumpang .....	9
2.4.5. Sambungan Sisi .....	9
2.4.6. <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i> .....	9
2.5 Prinsip kerja SMAW.....	10
2.6 Bagian Peralatan Las SMAW .....	10
2.7 Mesin Pembangkit Tenaga Listrik/Mesin Las.....	10
2.8 Kabel Las.....	10
2.9 Elektroda.....	11
2.10 Pemegang Elektroda .....	11
2.11 Tang Penghubung Kabel Massa.....	11
2.12 Alat Bantu.....	11
2.13 Posisi Pengelasan.....	11

2.14	Baja Karbon.....	12
2.15	Baja Karbon Rendah.....	12
2.16	Baja Karbon Sedang .....	12
2.17	Baja Karbon Tinggi .....	13
2.18	Korosi .....	13
2.19	Korosi Pada logam.....	14
2.20	Jenis-jenis Korosi .....	14
2.21	Laju Korosi .....	16
2.22	Sel Tiga Elektroda .....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>18</b>
3.1	Variabel Penelitian.....	18
3.2	Diagram Alir.....	18
3.3	Dimensi Benda Uji.....	20
3.4	Identifikasi .....	20
3.5	Alat dan Bahan .....	20
3.6	Metode Penelitian .....	25
3.7	Prosedur Penelitian .....	25
3.8	Metode Eksperimen .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>19</b>
4.1	Hasil Pengujian.....	19
4.1.1.	<i>Las SMAW</i> .....	19
4.2	<i>Welding Procedure Specifition (WPS)</i> .....	19
4.3	<i>Heat Input Pengelasan</i> .....	30
4.4	Analisa Laju Korosi .....	31
4.5	Inspeksi visual Hasil Pengelasan .....	35
4.6	Struktur Mikro .....	37
4.7	Analisa Hasil Struktur Mikro Dan Laju Korosi.....	40
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>30</b>
5.1	Kesimpulan .....	30
5.2	Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>42</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>44</b>

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Daerah Pengelasan.....	14
2.2	Jenis Jenis Sambungan Dalam Pengelasan.....	15
2.3	Las Busur Listrik Elektroda (SMAW).....	16
2.4	Skema Kerja Las Busur Listrik. ....	16
2.5	Posisi Pengelasan Kampuh.....	18
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	26
3.2	LAS SMAW. ....	27
3.3	Gerinda Tangan Bosch. ....	28
3.4	Elektroda E6013. ....	28
3.5	Aquarium. ....	28
3.6	Meteran.....	29
3.7	Penggaris Besi. ....	29
3.8	Jangka Sorong.....	29
3.9	Busur Derajat.....	30
3.10	Oven.....	30
3.11	<i>Spring Welding Hammer</i> .....	30
3.12	Meja Las .....	31
3.13	Gelas Ukur .....	31
3.14	Baja API 5L X65 .....	31
3.15	Resin Polyster Dan Katalis .....	32
3.16	Proses Pematangan Sample.....	32
3.17	Kampuh V Groove 60 <sup>0</sup> .....	33

3.18 Elektroda Coating .....	33
3.19 Pengukuran Kedalaman Air.....	33
3.20 Proses Pengelasan.....	34
3.21 Pemotongan Benda Uji .....	34
3.22 Proses Pembentukan Spesimen Laju Korosi .....	35
4.1 Grafik Laju Korosi 60A.....	39
4.2 Grafik Laju Korosi 90A.....	40
4.3 Grafik Laju Korosi 120A.....	41
4.4 Grafik Batang Laju Korosi .....	42

## **DAFTAR TABEL**

4.1	Heat input pengelasan.....	37
4.2	Hasil laju korosi .....	38

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Karena peleburan memainkan peran penting dalam rekayasa dan produksi logam, peleburan merupakan komponen penting dari pertumbuhan dan kemajuan industri. Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair, menurut definisi Deutsche Industrie Normen (DIN). Anda juga dapat mengartikan las sebagai sambungan spesifik dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto, 1996).

Metode pengelasan basah di bawah air biasanya digunakan untuk memperbaiki kerusakan pada badan kapal laut, memasang pipa gas dan minyak, membangun bangunan offshore, membangun jembatan di atas air, dan pelabuhan, serta bagian di bawah laut. Metode pengelasan ini sangat dibutuhkan oleh perusahaan besar yang bergerak di bidang perkapalan dan perminyakan karena dapat menghancurkan Jika terjadi kesalahan dalam proses desain komponen di bawah laut, ini juga dapat bermanfaat. Dua metode umum untuk pembuatan di bawah air adalah pembuatan di bawah air kering dan di bawah air basah.

*Underwater wet welding* lebih mudah untuk dilakukan karena tidak memerlukan peralatan yang kompleks. Seperti proses *underwater dry welding* yang menggunakan *Hyperbaric vessel*, yaitu peralatan untuk mengeluarkan dan mengeringkan air, dan *diving bell*, dan juga lebih simpel karena memungkinkan untuk melakukan pengelasan pada struktur-struktur yang kompleks di bawah laut. Akan tetapi, *underwater wet welding* memiliki beberapa kekurangan yaitu, dikarenakan tekanan atmosfer disekeliling laut tidak ada pembatasnya diantara air dan lasan, maka tekanan pada busur lasan menjadi tidak stabil, lalu karena oksigen dan hidrogen di weld pool lebih tinggi karena terjadi disosiasi pada air, maka porositas akan meningkat dan terjadi crack yang terinduksi oleh hidrogen.(Surojo et al., 2020).

Banyak industri manufaktur mulai menggunakan pengelasan dalam proses produksinya karena industri manufaktur saat ini semakin berkembang. Menurut

Bintoro (1999), ada banyak jenis pengelasan yang digunakan, salah satunya SMAW. Proses las SMAW terdiri dari pembungkus elektroda, sumbu kawat, area busur (arc), gas perlindungan, logam yang diendapkan, dan terak yang telah mengeras. Las listrik, juga dikenal sebagai pengelasan SMAW, adalah teknik las yang sangat praktis yang dapat dilakukan dengan tangan. Dengan pengelasan sistem single pass atau multi pass, proses las listrik ini dapat digunakan untuk mengelas semua jenis bangunan logam, mulai dari yang tipis hingga yang tebal (Bintoro, 1999).

Menurut penelitian yang dilakukan (Menezes et al., 2019), yang meneliti elektrode yang dilapisi dengan varnish vinylic dan polymer, mereka memiliki nilai tegangan busur yang lebih tinggi daripada elektrode konvensional (Putra et al., 2019). Selain itu, elektrode yang dilapisi dengan lilin dan pernis memiliki laju korosi 0,80 mmpy di daerah HAZ.

Berdasarkan penelitian literatur penelitian yang sudah dijelaskan, penulis memutuskan untuk melakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Variasi Input Panas Underwater Wet Welding Menggunakan Electrode Coating E6013 Terhadap Sifat Mekanik Baja Api 5L X65".

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu, bagaimana laju korosi pengelasan bawah air baja pada baja API5L X65 dengan variasi diameter elektroda dan kuat arus ?

1. Bagaimana hasil nilai yang didapatkan dari pengujian laju korosi yang didapatkan dari pengujian underwater wet welding terhadap baja API 5L X65 menggunakan electrode coating?
2. Berapakah arus yang terbaik untuk digunakan pada proses *underwater wet welding*

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah Mengetahui hasil analisa terhadap laju korosi pada baja API5L X65 dengan variasi diameter elektroda dan kuat arus menggunakan pengujian laju korosi dengan

perendaman cairan demineral.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Material uji adalah material baja karbon , yaitu API5L X65.
2. Pengelasan dilakukan dengan metode las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), posisi pengelasan datar (*flat position*) 1G, polaritas U, dengan elektroda E7016 diameter 2,6 mm pada kuat arus diameter 3,2 mm pada kuat arus 80 A, 90A, 120A.
3. Jenis kampuh yang digunakan adalah single V dengan sudut  $60^{\circ}$ .
4. Pengujian yang digunakan yaitu laju korosi dengan menggunakan cairan demineral.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui hasil laju korosi pada baja karbon API5L dengan variasi diameter elektroda dan kuat arus, dan sebagai informasi penting untuk seorang *helper* dan juru las agar mengetahui pengaruh-pengaruh tersebut terhadap kualitas hasil pengelasan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 State Of Art**

Tujuan penelitian Brilliano, n.d (2022) adalah untuk menentukan nilai efek kuat arus terhadap ketebalan lapisan dan laju korosi elektroplating baja karbon rendah ST41 dengan pelapis nikel. Elektroplating adalah rangkaian anoda, larutan elektrolit, katoda, dan arus listrik yang saling berhubungan. Penelitian ini bersifat eksperimen. Pengujian ketebalan dengan menggunakan pengukur ketebalan lapisan mengacu pada standar ST41. Pengujian laju korosi dengan menggunakan perendaman selama proses elektroplating baja ST41 mengukur ketebalan lapisan permukaan pipa dan kecepatan korosi. Salah satu tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi terbaik dari variasi arus pencelupan dalam proses elektroplating pipa bentuk baja ST-41 dalam hal ketebalan dan kecepatan korosi Hasil penelitian menunjukkan bahwa uji ketebalan yang dilakukan dengan perendaman selama sepuluh menit pada variabel arus 6, 8, dan 10 Ampere berhasil. Uji laju korosi dilakukan pada variasi arus kuat 6, 8, dan 10 Ampere dengan tiga spesimen untuk setiap variabel. Setiap spesimen memiliki tiga titik pengujian. Hasilnya menunjukkan bahwa proses pencelupan nikel mencapai ketebalan tertinggi dengan arus 10 Ampere, dengan nilai rata rata 6,59  $\mu\text{m}$ , dan yang terendah dengan arus 6 Ampere, dengan nilai rata rata 3,27  $\mu\text{m}$ . Namun, dibandingkan dengan laju korosi variasi arus elektroplating lainnya, proses elektroplating 10 Ampere memiliki laju korosi terendah, yaitu 0,016667 mm per tahun. "Tidak ada perbedaan hasil uji ketebalan terhadap titik uji ketebalan dengan 3 titik pengajuan uji", menurut nilai sig. 0,921, yang lebih besar dari 0,005, dan nilai sig. 0.0000,005, yang menunjukkan bahwa "tidak ada interaksi berdasarkan titik ketebalan spesimen dengan arus yang kuat yang diajukan."

Logam mengalami korosi, yang dapat mengurangi nilai ekonominya. Kondisi lingkungan, seperti kadar salinitas dan suhu air laut, memengaruhi korosi baja kapal. Tulisan ini membahas hasil penelitian yang dilakukan

untuk mengetahui bagaimana salinitas dan suhu air laut mempengaruhi laju korosi baja kapal A36 pada pengelasan SMAW. Penelitian ini dilakukan dengan pengujian sel tiga elektroda AWS A5.1 E6013. Suhu yang digunakan adalah 70, 170, dan 270 derajat Celcius. 320/00, 350/00, dan 380/00 adalah nomor saline yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan korelasi positif antara laju korosi dan suhu. Salinitas 380/00 mengalami laju korosi tertinggi pada 270 °C, atau 0,5616 mmpy, dengan peningkatan laju korosi sebesar 0,2052 mmpy untuk setiap kenaikan suhu 100 °C. Sebaliknya, laju korosi meningkat 0,0415 mmpy untuk setiap kenaikan salinitas 3% (Afandi et al., 2015).

Penelitian Pattireuw et al (2013) Untuk tujuan penelitian ini, paduan tembaga dan baja karbon digunakan. Merendam material uji dalam larutan air laut dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah langkah pertama dalam proses korosi. Setelah itu, material ditampung dalam aquarium kaca agar pompa dapat bergerak dengan baik. Untuk tiga kali perendaman, satu jam diperlukan, dan untuk tiga kali perendaman, tiga jam diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari bagaimana korosi terjadi pada bahan yang terbuat dari baja karbon dan paduan tembaga. Kehilangan berat akibat korosi berkorelasi positif dengan waktu. Dengan kata lain, lebih lama pencelupan, lebih banyak kehilangan berat yang terjadi. Hasil pengujian laju korosi yang dilakukan selama satu jam menunjukkan bahwa spesimen I memiliki nilai rata-rata 0,105 mpy dan mpy untuk paduan tembaga dan baja karbon dalam larutan air laut. Untuk spesimen I, baja karbon dan paduan tembaga dalam larutan 2 air laut dan asam sulfat adalah 1,350 mpy dan 0,015 mpy, dan untuk larutan asam sulfat adalah 1,400 mpy dan 1,306 mpy, menurut hasil pengujian laju korosi yang dilakukan selama tiga jam.

Penelitian Bayuseno (2009) Di dalam plat kapal, korosi adalah gejala alami yang biasa terjadi karena interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Dalam tulisan ini, analisis ketahanan korosi plat baja yang biasa digunakan sebagai material kapal dibahas dengan mengamati perubahan massa yang hilang. Permukaan baja selanjutnya dilapisi cat untuk mencegah korosi plat

baja. Karena komposisi dan fitur produk cat yang ada dipasaran saat ini bervariasi, masalah utama adalah menentukan produk cat yang tepat dan tahan terhadap korosi lingkungan. Selanjutnya, plat baja dengan dan tanpa perlindungan cat diuji untuk ketahanan korosif di laboratorium untuk fitur seperti ketahanan bentur, kemampuan tekuk, dan kekuatan adhesi cat. Produk yang diteliti terdiri dari tiga (atau tiga) merk cat kapal dengan bagian atas dan bawah, yang dimodelkan pada plat baja ST-45. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi pada plat baja yang telah dilindungi cat sangat rendah dalam berbagai kondisi asam.

Penelitian Fecl et al (2012) Pipa bawah laut API 5L Grade X65 biasanya digunakan untuk penyalur gas, air, dan minyak. Pipa ini dirancang untuk mengangkut gas, air, atau minyak dari lepas pantai ke lokasi penerimaan. Sistem perpipaan seperti ini membutuhkan proses las. Dalam struktur anjungan lepas pantai, pengelasan flux cored arc welding (FCAW) adalah las yang paling umum digunakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan bagaimana perbedaan elektroda pengelasan berdampak pada laju korosi pipa API 5L Grade X65. Elektroda E7018, E6010, dan E6013 digunakan untuk spesifikasi AWS. Pengujian korosi ini dilakukan dengan bantuan sel tiga elektroda dengan media korosi FeCl<sub>3</sub> yang mengacu pada ASTM G48. Menurut pengujian ini, laju korosi elektroda E7018 adalah 0,53 mmpy, elektroda E6013 adalah 0,69 mmpy, dan elektroda E6010 adalah 0,62 mmpy. Kandungan unsur mangan (Mn) pada pipa dan elektroda las berbeda, tetapi kekuatan tekan pada elektroda dan baja yang dilas memengaruhi tingkat korosi yang berbeda ini. Hasil foto SEM (Scanning Electron Microscope) menunjukkan bahwa permukaan weldmetal dengan laju korosi tertinggi lebih kasar secara morfologi. Tetapi laju korosi yang dihasilkan oleh las elektroda masih di bawah batas yang diizinkan.

## **2.2 Pengelasan**

Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair, menurut definisi Deutsche Industrie Normen (DIN). Anda juga dapat mengartikan las sebagai sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi

panas (Wiryosumarto, 1996).

Menurut Groover (1996), pengelasan memberikan keuntungan teknologi dan komersil antara lain adalah :

1. Pengelasan menyatukan kedua bagian menjadi satu kesatuan.
2. Jika logam pengisi, atau filler metal, yang digunakan memiliki karakteristik kekuatan yang lebih tinggi daripada material induknya, sambungan las dapat lebih kuat daripada material induknya. Selain itu, teknik pengelasan yang digunakan harus tepat.
3. Jika dilihat dari segi penggunaannya dan harga pembuatannya, pengelasan biasanya merupakan metode yang paling hemat biaya.
4. Pengelasan tidak hanya dapat digunakan di lingkungan pabrik, pengelasan dapat dilakukan dilapangan yang bukan lingkungan pabrik.

Proses pengelasan dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan masukan panas utama yang diberikan kepada logam dasar (Wiryosumarto, 1996):

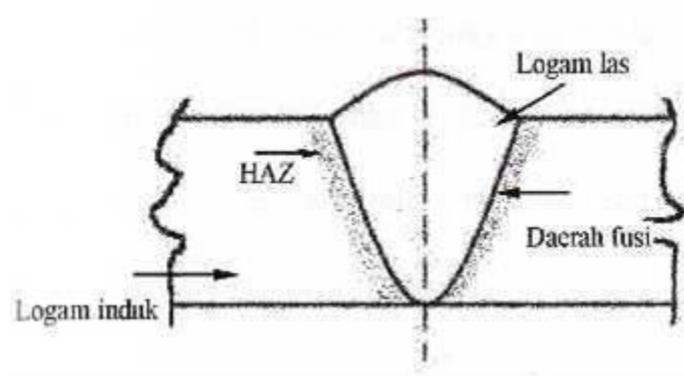
1. Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang berasal dari fusi, seperti las busur (las arus), las gas (las gas), las sinar electron (las sinar electron), dan sebagainya
2. Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang tidak berasal dari nyala api las (*nonfusion*). Contohnya adalah pengelasan dengan gesekan (*friction stirr welding*), las tempa, dan lain-lain.

### **2.3 Bagian Bagian dari Pengelasan**

Pada proses pengelasan terdapat empat daerah yaitu :

1. Logam induk, atau base metal, adalah bagian logam dasar yang tidak mengalami perubahan struktur dan sifat karena panas dan suhu pengelasan.
2. Logam las.
3. Daerah pengaruh panas, juga dikenal sebagai "zona yang terkena panas", merupakan area logam dasar yang berdekatan dengan logam las dan mengalami siklus panas dan dingin yang cepat selama proses pengelasan.
4. Daerah yang membatasi logam las dengan daerah pengaruh panas (haz)

disebut sebagai batas las.

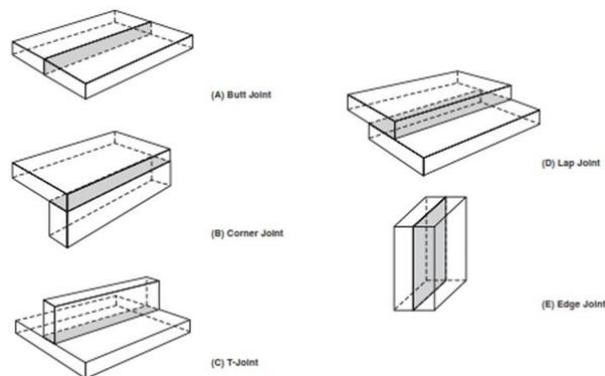


**Gambar 2.1** Daerah Pengelasan

(Wiryosumarto, 1996)

## 2.4 Jenis-jenis Sambungan

Dalam konstruksi baja, sambungan las biasanya terdiri dari sambungan tumpul, sambungan t, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sambungan silang, sambungan dengan penguat, dan sambungan sisi tumbuh dari sambungan dasar ini.



**Gambar 2.2** Jenis-jenis Sambungan Pengelasan

(Wiryosumarto, 1996)

### 2.4.1. Sambungan Tumpul

Jenis sambungan tumpul yang paling efektif adalah penetrasi penuh dan sebagian. Bentuk alur sambungan tumpul sangat memengaruhi efisiensi pekerjaan, efisiensi sambungan, dan jaminan sambungan.

### 2.4.2. Sambungan Sudut

Dalam sambungan ini, alur pada pelat tegak dibuat untuk menghindari penyusutan arah tebal pelat yang dapat menyebabkan retak lamel.

#### 2.4.3. Sambungan Bentuk T

Pada jenis las dengan alur dan las sudut adalah dua kategori yang berbeda yang digunakan pada kedua sambungan ini. Jenis las dengan alur mungkin menghalangi bagian batang saat melakukan pengelasan, yang dapat diatasi dengan mempebesar sudut alur.

#### 2.4.4. Sambungan Tumpang

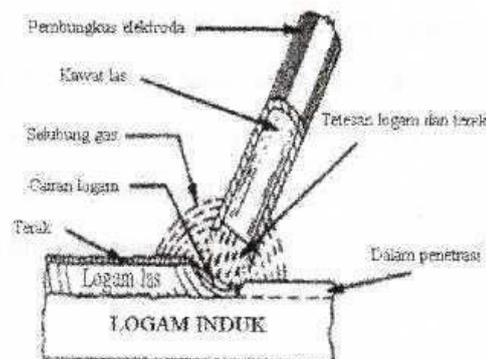
Sambungan ini jarang digunakan untuk penyambungan konstruksi utama karena tidak efisien. Las sudut dan las isi biasanya digunakan untuk sambungan tumpang.

#### 2.4.5. Sambungan Sisi

Sambungan las sisi terdiri dari sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Sambungan las dengan alur membutuhkan alur pada pelat, sedangkan sambungan las ujung melakukan pengelasan pada ujung pelat tanpa alur.

#### 2.4.6. Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Las busur listrik elektroda terlindung, juga dikenal sebagai SMAW (pengelasan arus logam terlindung), adalah pengelasan yang menggunakan panas pencair logam sebagai busur nyala listrik, busur listrik terbentuk di antara logam induk dan elektroda terlindung, dan keduanya mencair dan membeku sebagai akibat dari panas yang dihasilkan oleh busur listrik.

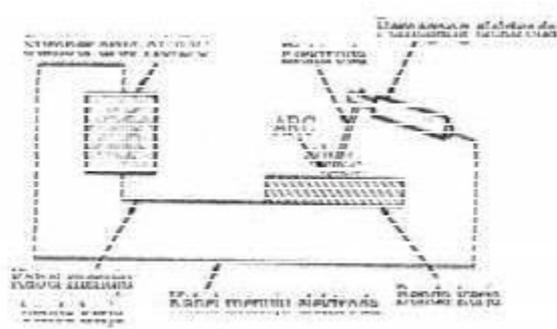


Gambar 2.3 Las busur listrik elektroda (SMAW)

(Wirjosumarto, 1996)

## 2.5 Prinsip kerja SMAW

Gambar 4 menunjukkan prinsip kerja las busur listrik elektroda terlindung. Las dimulai ketika nyala api elektrik menyentuh benda kerja di ujung elektroda. Skema las SMAW: Dua logam konduktif dapat pecah jika arus listrik dengan tegangan yang relatif rendah mengalir ke mereka. Loncatan elektron menghasilkan panas yang sangat tinggi, yang dapat mencapai suhu 5000 Celcius.



**Gambar 2.4** Skema kerja las busur listrik elektroda terlindung (Wirjosumarto, 1996)

## 2.6 Bagian Peralatan Las SMAW

Las SMAW terdiri dari beberapa bagian peralatan yang disusun atau dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai satu unit alat pengelasan. Satu unit las SMAW terdiri dari pembungkus elektroda, sumbu kawat, area busur (arc) di sekitarnya, gas perlindungan, logam yang diendapkan, dan terak yang telah mengeras Menurut Bintoro (1999).

## 2.7 Mesin Pembangkit Tenaga Listrik/Mesin Las

Mesin las AC memiliki transformator atau trafo yang menaikkan atau menurunkan tegangan, dan kebanyakan trafo yang digunakan di peralatan las adalah jenis trafo step-down, yang menurunkan tegangan. Mesin las arus searah memiliki reofer atau penyearah arus yang mengubah arus bolak balik.

## 2.8 Kabel Las

Kabel las digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari sumber listrik ke elektroda dan massa. Kabel harus dipilih sehingga arus yang besar dapat melalui tanpa banyak hambatan.

## **2.9 Elektroda**

Elektroda terbagi menjadi dua kategori: elektroda polos dan elektroda berselaput. Elektroda berselaput terdiri dari bagian inti yang berfungsi sebagai filler metal dan zat pelindung atau fluks yang berfungsi untuk

1. Melindungi cairan las, busur listrik, dan benda kerja las dari udara luar. Sifat mekanis logam yang dilas dapat dipengaruhi oleh oksidasi, yang dapat terjadi karena udara luar mengandung oksigen.
2. Memungkinkan pengelasan dengan posisi yang berbeda beda.
3. Menambah zat tertentu pada selaput elektroda, dll. untuk memberi hasil pengelasan karakteristik khusus.

## **2.10 Pemegang Elektroda**

Pemegang elektroda mengalirkan arus listrik dari kabel ke elektroda dan memegang ujung elektroda yang tidak berselaput.

## **2.11 Tang Penghubung Kabel Massa**

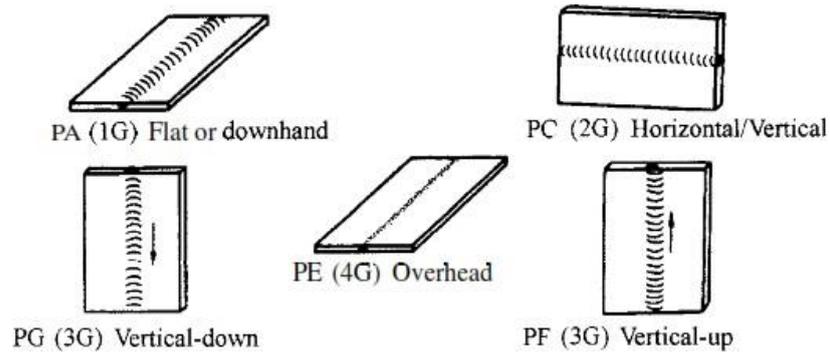
Tang penghubung kabel massa digunakan untuk menghubungkan kabel massa ke benda kerja yang akan dilas.

## **2.12 Alat Bantu**

Alat bantu sifatnya tidak mutlak harus ada. Fungsinya adalah sebagai pembantu untuk mempermudah dalam pengelasan. Alat bantu yang umum digunakan contohnya: palu terak, tang untuk memegang benda kerja yang masih panas, sikat kawat, topeng las, dan sebagainya.

## **2.13 Posisi Pengelasan**

Ada empat posisi pengelasan dasar yang berbeda, yaitu datar, horisontal- vertikal, atas dan vertikal. Pengelasan posisi vertikal dapat dilakukan keluar sebagai pengelasan vertikal ke atas atau vertikal ke bawah. Selain itu, pengelasan *fillet* bisa dibuat dalam posisi horisontal-vertikal atau dalam posisi datar.



**Gambar 2.5** Posisi Pengelasan Untuk Pengelasan Kampuh  
(Weman, Klas. 2000)

## 2.14 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan besi dan karbon dengan sedikit si, mn, p, s, dan cu. Sifat-sifatnya sangat bergantung pada kadar karbonnya, karena kadar karbon yang lebih tinggi meningkatkan kekuatan dan kekerasan (Wiryosumarto, 1996).

Sistem penomoran baja yang digunakan oleh *American Iron and Steel Institute* (AISI) terdiri dari empat angka: 10xx menunjukkan baja karbon, dan dua angka terakhir menunjukkan persentase karbon. Misalnya, angka 1020 menunjukkan baja karbon dengan kadar karbon 0,20% (Groover, 1996).

## 2.15 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah biasanya disebut baja ringan (mild steel) atau baja perkakas. Baja dengan kandungan karbon antara 0,08% dan 0,30% adalah jenis baja yang paling umum dan digunakan, yang digunakan untuk bodi kendaraan (Sack, 1997).

Dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau baja karbon paduan, baja karbon rendah memiliki kepekaan las yang lebih rendah. Namun, retak las pada baja karbon rendah dapat terjadi dengan mudah ketika dilas dengan plat tebal karena tingkat belerang bebas yang tinggi di dalamnya. Namun, retak ini dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dilas dengan elektroda hidrogen rendah (Wiryosumarto, 1996).

## 2.16 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang adalah baja dengan kandungan karbon antara 0,30% dan 0,60%. Ini lebih kuat daripada baja karbon rendah dan memiliki kualitas perlakuan panas yang baik. Las busur listrik elektroda terlindung dan metode pengelasan lainnya dapat digunakan untuk mengelas baja karbon sedang. Menurut Sack (1997), pemanasan dilakukan sebelum pengelasan dan normalisasi dilakukan setelah pengelasan untuk mendapatkan hasil terbaik.

### **2.17 Baja Karbon Tinggi**

Kandungan karbon baja karbon tinggi paling tinggi, berkisar antara 0,60% dan 1,7%, dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang. Baja karbon tinggi biasanya sulit dilas (Sack, 1997). Mudah terjadi pengelasan di daerah pengaruh panas (haz) karena banyaknya karbon dan unsur pengelas baja lainnya. Adanya hidrogen difusi dan sifat mudah menjadi keras baja ini membuatnya sangat peka terhadap retak las. Untuk mengurangi retak las pada baja karbon tinggi, pemanasan sebelum pengelasan dan perlakuan panas setelah pengelasan sangat dianjurkan (Wirjosumarto, 1996).

### **2.18 Korosi**

Korosi adalah proses degradasi mutu suatu material, baik logam maupun nonlogam akibat pengaruh lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991). Korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses kembalinya suatu material ke dalam bentuk senyawa awalnya secara alamiah. Berdasarkan teori kimia, pada suatu peristiwa korosi akan disertai oleh reaksi oksidasi dan reaksi reduksi atau biasa disebut sebagai reaksi redoksi. Pada sistem korosi, akan ada material yang bertindak sebagai anoda dan ada juga yang bertindak sebagai katoda. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi yakni reaksi pelepasan elektron atau pengikatan ion oksigen. Sedangkan pada katoda akan terjadi reaksi reduksi yakni reaksi pengikatan elektron atau pelepasan ion oksigen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setidaknya terdapat empat elemen utama sebagai syarat terjadinya korosi, yakni :

1. Terdapat material yang bertindak sebagai anoda. Pada anoda akan terjadi reaksi anodik yang berupa reaksi oksidasi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom logam netral untuk membentuk ion positif. Sehingga

anoda merupakan bagian yang terurai atau terkorosi. Sebagai contoh, reaksi oksidasi pada logam dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :

2. Terdapat material yang bertindak sebagai katoda. Pada katoda akan terjadi reaksi katodik yang berupa reaksi reduksi dengan mengkonsumsi elektron yang dihasilkan dari reaksi anodik. Sebagai contoh, reaksi reduksi dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :
3. Adanya hubungan (metallic pathway), dimana arus mengalir dari katoda ke anoda, sedangkan elektron mengalir dari arah sebaliknya.
4. Larutan elektrolit sebagai media korosif yang dapat mengalirkan arus.

### **2.19 Korosi Pada logam**

Logam adalah salah satu material yang memiliki banyak manfaat dalam kehidupan manusia. Namun, logam sangat rentan terhadap korosi. Korosi dapat menyebabkan kerusakan seperti keropos, berlubang, menipis, atau bahkan kepatahan. Korosi tidak dapat dihindari, jadi penting untuk memahami dan mengambil tindakan untuk menghambat korosi. Berikut adalah beberapa hal penting tentang korosi logam:

1. Jika ditinjau berdasarkan reaksi kimianya, korosi logam hanya berlangsung setengah dari reaksi.
2. Korosi logam membuatnya rusak atau kehilangan kualitasnya. Proses degradasi ini melibatkan reaksi kimia dan elektrokimia, dengan elektron berpindah antara material yang bersangkutan.
3. Lingkungan Faktor yang sangat mempengaruhi proses korosi logam adalah lingkungannya.

### **2.20 Jenis-jenis Korosi**

Korosi dapat dibagi menjadi dua belas kategori berdasarkan penyebabnya:

1. Korosi homogen, juga dikenal sebagai korosi uniform, adalah jenis korosi yang terjadi secara merata pada permukaan material yang terbuka..
2. Korosi galvanik, juga dikenal sebagai korsi galvanik, terjadi ketika dua

jenis logam bertemu dengan nilai elektropotensial yang berbeda. Logam dengan nilai elektropotensial yang lebih rendah berfungsi sebagai anoda dan akan terkorosi.

3. Korosi celah, juga dikenal sebagai korosi celah, adalah korosi logam pada celah kecil. Ini terjadi pada skala kecil dan biasanya disebabkan oleh larutan yang terperangkap pada lubang, gasket, lap joint, dan baut.
4. Korosi yang terjadi pada batas butir, atau batas butir, tempat impurity berkumpul pada suatu material disebut korosi batas butir. Ini juga dikenal sebagai korosi antarbutir.
5. Korosi sumuran, atau korosi titik, adalah korosi yang terjadi pada logam karena konsentrasi ion klorida yang tinggi. Jenis korosi ini menyebabkan lubang mikroskopik pada logam.
6. Penyerapan pilihan, di mana satu komponen meluruh pada suatu paduan, menyebabkan pori-pori pada paduan yang tersisa, menurunkan ketahanan korosi paduan.
7. Korosi erosi, juga dikenal sebagai korosi erosi, adalah korosi yang terjadi karena gerakan relatif fluida korosif pada permukaan logam.
8. Korosi kavitasi, atau juga dikenal sebagai korosi kavitasi, adalah jenis korosi erosi yang disebabkan oleh pembentukan balon vapour pada permukaan logam. Ini terjadi pada hidrolis turbin, propeller, dan pompa di mana kecepatan aliran dan tekanan fluida meningkat.
9. Korrosi gesekan, juga dikenal sebagai korosi gesekan, adalah jenis korosi yang terjadi pada material yang saling bersinggungan karena beban getaran dan slip. Lubang atau alur dalam logam yang mengalami korosi di daerah sekitarnya.
10. Korosi biologi, adalah korosi yang disebabkan oleh aktivitas dan hasil metabolisme mikroorganisme. Mikroorganisme ini biasanya termasuk bakteri aerob, bakteri anaerob, dan beberapa jenis jamur.
11. Korosi yang disebabkan oleh retakan yang disebabkan oleh tegangan tarik dan media korosif secara bersamaan disebut korosi retak tegangan, yang juga dikenal sebagai cracking korosi stres.
12. Korosi retak lelah, juga dikenal sebagai korosi retak lelah, adalah korosi

yang terjadi pada material yang mengalami retak akibat pembebanan siklis yang dapat menyebabkan kepatahan atau kepecahan pada material tersebut.

### **2.21 Laju Korosi**

Laju korosi adalah parameter yang sering digunakan dalam pengujian korosi karena sangat memengaruhi nilai ekonomis dan teknis material. Ini menunjukkan tingkat penetrasi korosi yang terjadi pada suatu material. Laju korosi dapat dihitung dengan dua cara: metode kehilangan berat (atau penurunan berat badan) dan metode elektrolisis.

Metode kehilangan berat menghitung berat material sebelum korosi dan kemudian mengurangi berat material setelah korosi. Nilai yang tersisa dari kedua nilai ini menunjukkan berat material yang hilang dan terurai karena korosi. Pada metode elektrolisis, laju korosi dihitung dengan bantuan sel elektrokimia; dalam penelitian ini, sel elektrokimia jenis tiga elektroda digunakan. Sel elektrokimia ini akan memberikan potensial pada material uji, menyebabkan korosi sebagai hasil dari reaksi katodik dan anodic. Kelebihan metode ini adalah bahwa laju korosi langsung diketahui saat pengujian dilakukan, yang berarti tidak perlu waktu yang lama untuk mengetahuinya.

### **2.22 Sel Tiga Elektroda**

Sel tiga elektroda adalah alat laboratorium standar yang digunakan untuk melakukan pengujian korosi pada material yang didasarkan pada metode elektrolisis. Konfigurasi sel tiga elektroda terdiri dari beberapa bagian berikut:

- a) Elektroda kerja, atau elektroda penelitian, atau anoda, yang dicelupkan pada fluida kerja
- b) Elektroda bantu atau elektroda pendukung adalah elektroda yang tidak hanya memberikan potensial pada elektroda kerja tetapi juga mengangkut arus listrik yang dihasilkan oleh reaksi kimia.
- c) Elektroda acuan, juga dikenal sebagai elektroda referensi, berfungsi sebagai perbandingan antara potensial yang diberikan pada elektroda kerja dan elektroda bantu. Diusahakan agar arus yang mengalir melalui

elektroda acuan ini menjadi sekecil mungkin sehingga tidak terlihat.

- d) Larutan elektrolit, juga dikenal sebagai larutan elektrolit, harus dibuat dengan hati-hati karena berfungsi sebagai penghantar arus ionik dalam reaksi korosi. Jumlah volume larutan elektrolit yang diperlukan adalah satu liter.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Variabel Penelitian**

Adapun variable penelitian yang penulis teliti adalah baja API 5L X65, yang dimana pengujian yang diambil yaitu dari hasil pengelasan dengan metode underwater wet welding dengan variasi arus pengelasan yang digunakan 60 Ampere, 90 Ampere dan 120 Ampere, selanjutnya dilakukan perendaman menggunakan cairan demineral untuk pengujian laju korosi. Adapun variable-variable yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Variabel Kontrol:

- a) Baja Api 5L X65
- b) Las SMAW (Shield Metal Arc Welding)

2. Variable Bebas:

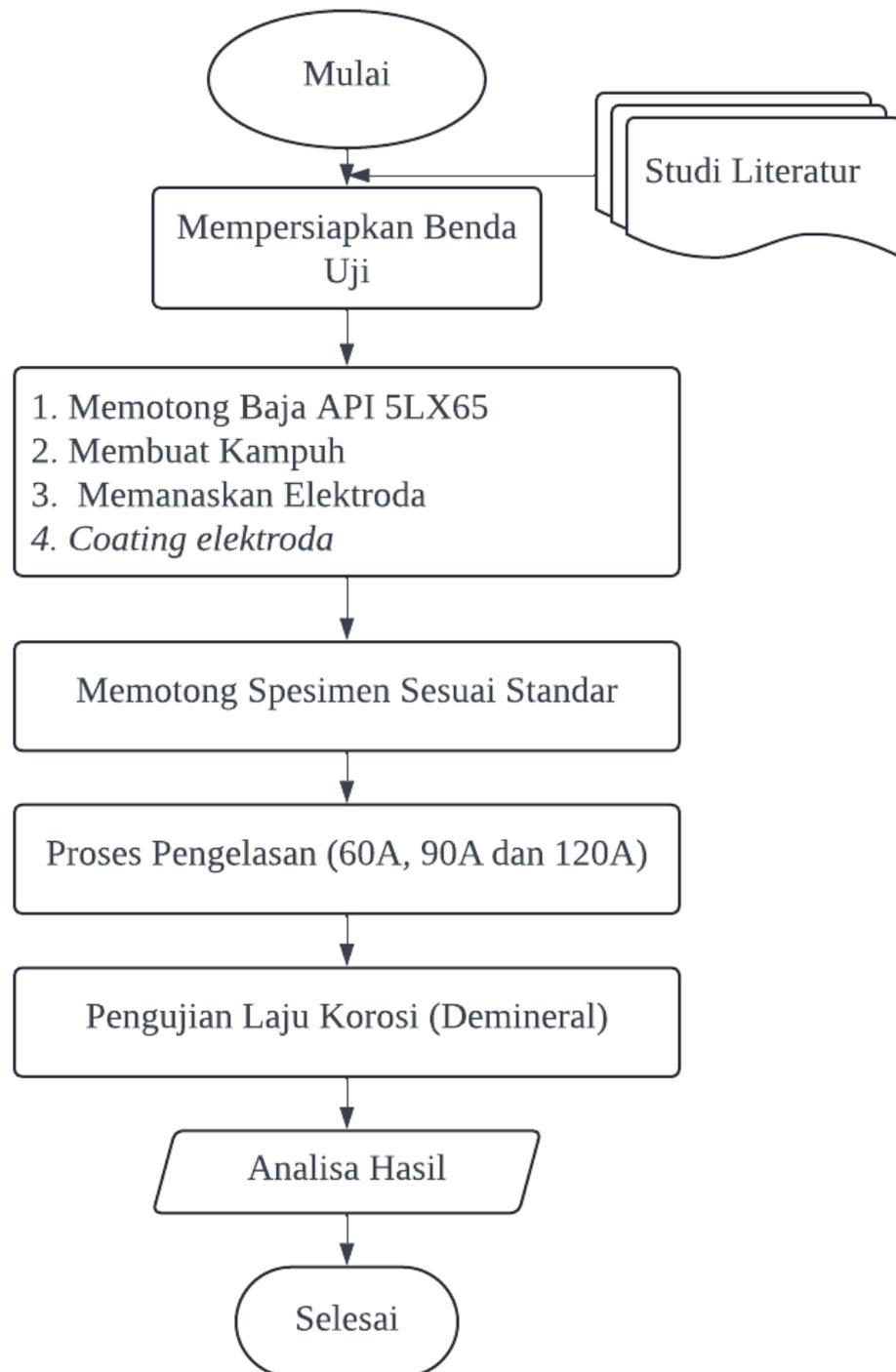
- a) Air Tawat
- b) Kedalaman Air
- c) Variasi Arus 60 Ampere, 90 Ampere, dan 120 Ampere

3. Variable Terikat:

- a) Hasil Laju Korosi

#### **3.2 Diagram Alir**

Pada penelitian ini terdapat diagram alir yang menjelaskan bagaimana proses yang dilalui dalam suatu penelitian dimulai dari persiapan alat, persiapan bahan hingga proses pengambilan data-data yang dibutuhkan, Adapun itu berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Dimensi Benda Uji

Spesifikasi benda uji yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah baja API X5
2. Elektroda yang digunakan adalah jenis E7016 dengan diameter 2,6 mm dan 3,2 mm dengan lapisan coating
3. Posisi pengelasan 1G (*Groove*)
4. Kampuh yang digunakan jenis single V, jarak celah akar 2 mm, tinggi kaki akar 2 mm
5. Ketebalan 10 mm dan sudut kampuh 60°

### 3.4 Identifikasi

Identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah menganalisa pengujian fisis laju korosi yang didapatkan dari pengujian *underwater wet welding* terhadap baja API 5L X65 menggunakan electrode coating.

### 3.5 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang di butuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### A. Alat

1. Las SMAW (*shield metal Arc Welding*)



**Gambar 3.2** Las SMAW

2. Gerinda Tangan Bosch GW7-100



**Gambar 3.3** Gerinda Tangan Bosch GWS 7-100

3. Electrode E6013



**Gambar 3.4** Elektrode E6013

4. Aquarium



**Gambar 3.5** Aquarium

5. Meteran



**Gambar 3.6** Meteran

6. Penggaris Besi



**Gambar 3.7** Penggaris Besi

7. Jangka Sorong



**Gambar 3.8** Jangka Sorong

8. Busur Derajat



**Gambar 3.9** Busur Derajat

9. Oven



**Gambar 3.10** Oven

10. *Spring Welding Hammer*



**Gambar 3.11** Spring Welding Hammer

## 11. Meja Las



**Gambar 3.12** Meja Las

## 12. Gelas Ukur



**Gambar 3.13** Gelas Ukur

## B. Bahan

### 1. Baja API 5L X65



**Gambar 3.14** Baja API 5L X65

## 2. Resin *Polyster* dan katalis



**Gambar 3.15** Resin Polyester dan katalis

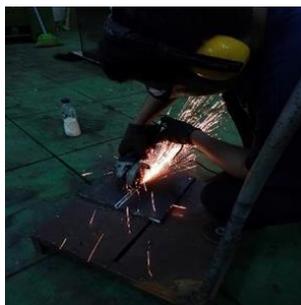
### 3.6 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yang dimana metode eksperimen ini dilakukan pengamatan pada hasil pengujian sifat mekanis terhadap proses *underwater wet welding* menggunakan variasi arus 60,90,120 Ampere dengan media electrode konvensional dilapisi pelindung coating berupa resin polyester dan katalis, dengan kedalaman air yaitu 50 cm. setelah itu menganalisa laju korosi pada spesimen, ketangguhan dan kekerasan dari hasil pengelasan. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah arus yang dipakai, variabel terikat yaitu hasil uji laju korosi.

### 3.7 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur percobaan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
2. Melakukan pemotongan *specimen* dengan ukuran panjang 300 x 260 mm, lalu di bentuk kampuh *v groove butt joint* 60°



**Gambar 3.16** Proses Pemotongan Sample



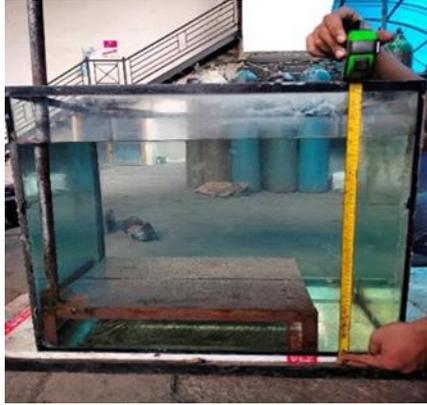
**Gambar 3.17** Kampuh V-Groove 60°

3. Melakukan oven electrode dengan suhu 60° derajat celcius selama 1 jam, lalu melakukan *coating electrode* menggunakan resin *polyester* dengan metode celup menggunakan pipa PVC ½ inchi dan lalu di jemur disuhu ruangan selama 1 jam. Adapun perbandingan resin dan katalis yaitu 100:1



**Gambar 3.18** Elektrode Coating

4. Melakukan *surface preparation* berupa pembersihan permukaan benda kerja menggunakan gerinda tangan sebelum melakukan pengelasan
5. Melakukan pengisian air kedalam aquarium setelah itu ukuran menggunakan meteran dengan kedalaman 50 cm



**Gambar 3.19** Pengukuran Kedalaman Air

6. Melakukan pengelasan 1G dengan sudut  $70^{\circ}$ - $80^{\circ}$ . Dengan arus yang digunakan pada specimen satu yaitu 60 ampere, specimen dua 90 ampere, dan specimen tiga yaitu 120 ampere.



**Gambar 3.20** Proses Pengelasan

7. Melakukan pemotongan benda kerja sesuai standar pengujian laju korosi



**Gambar 3.21** Pemotongan benda uji

8. Melakukan proses pembentukan specimen



**Gambar 3.22** Proses pembentukan specimen laju korosi

### **3.8 Metode Eksperimen**

Holman (2012) mengatakan bahwa metode eksperimen merupakan metode yang dilakukan untuk memperoleh data secara sistematis dan terukur. Metode eksperimen juga dilakukan dengan tujuan mendapatkan kendali terhadap produk. Metode eksperimen dilakukan dengan mengukur variable yang berhubungan dengan produk atau system dan melakukan Analisa data kemudian digunakan dalam mengambil Kesimpulan tentang relevansi antara variable perlakuan dan pengukuran khusus terhadap material yang menjadi penelitian ini.

Dalam penelitian ini metode eksperimen merupakan mencari nilai laju korosi terhadap material baja API 5L X65 menggunakan metode *Underwater Wet Welding* dengan jenis pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* dengan tipe sambungan *Butt Joint Single V-Groove 60°*, posisi pengelasan 1G, jenis elektroda AWS E6013, diameter filler metal  $\varnothing$  3.2 mm, pelindung flux elektroda Resin Polyester, polaritas DCEP/ DCSP dan menggunakan amper bervariasi yaitu 60A,90A,120A.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengujian**

Dalam bidang keteknikan, hasil pengujian merupakan hasil dari beberapa percobaan atau pengujian untuk memberikan validasi atau verifikasi kinerja, kualitas atau kesesuaian suatu produk atau sistem yang dibuat. Hasil pengujian dalam bidang keteknikan memiliki bentuk berupa data numerik yang mewakili kualitas atau kesesuaian dari produk sistem (Callister, 2018).

Rijali (2019) mengatakan bahwa analisa merupakan upaya untuk mencari menata data dari hasil penelitian. Maka dari itu, hasil pengujian bukan hasil akhir yang dapat mengeluarkan sebuah kesimpulan. Perlu adanya pengolahan data dan analisa lanjutandengan merusuk pada rumus rumus perhitungan data.

Hasil pengujian pada penelitian ini memiliki fokus terhadap nilai laju korosi dengan menggunakan metode *underwater welding* menggunakan Las SMAW, dengan ampere 60, 90 dan 120.

##### **4.1.1. Las SMAW**

Las SMAW atau bisa disebut *shielded metal arc welding*, yang juga dikenal *welding stick* atau *welding rod* ini adalah metode pengelasan manual yang paling umum digunakan didunia. Dalam prosesi ini busur listrik dibentuk antara elektroda berlapis fluks dan bahan yang akan disambungkan, sehingga menyebabkan logam meleleh dan terikat bersama, dalam pengujian kali ini penelitian menggunakan variasi amper yang berbeda yaitu 60A, 90A dan 120A dengan pelapisan elektroda menggunakan resin polyster.

#### **4.2 *Welding Procedure Specifition (WPS)***

Proses *Underwater wet welding* pada penelitian ini yang di lakukan di Pusat Pelatihan Kerja Khusus Pengembangan Las (PPKKPL) Condet Jakarta Timur. Adapun itu berikut *Welding Procedure Specifition (WPS)* sebagai berikut:

Dimensi	: 300 mm x 260 mm x 12,7mm
Jenis Pengelasan	: Shielded Metal Arc Welding
Tipe Sambungan	: Butt Joint Single V- Groove 60°
Posisi Pengelasan	: 1G
Elektrode	: AWS E6013
Diameter Filler Metal	: Ø 3.2 mm
Pelindung Flux Electrode	: Resin Polyester
Polaritas	: DCEP/ DCSP
Ampere	: 60A,90A,120A
Voltage (Range)	: 89V
Surface Preparation	: Grinding & Wire Brush
Mesin Las	: Miller Invasion 456MP
Welder	: Marlon (Instruktur Welder PPKKPL Condet)

### 4.3 Heat Input Pengelasan

Adapun hasil heat input dari masing-masing variasi arus dan kecepatan pengelasan yang dihasilkan dalam proses *underwater wet welding* sambungan baja API 5L X65 ini, adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Heat Input Masing-masing Arus Pengelasan

<i>Type Electrode</i>	<i>Arus</i> (A)	<i>Voltage</i> (V)	<i>Travel Speed</i> (mm/min)	<i>Heat Input</i> (kJ/mm)
Kobe Steel	60	88,7	28,22	11,31
RB-26	90	88,7	31,02	15,44
Ø3,2mm	120	88,7	33,03	19,33

#### 4.4 Analisa Laju Korosi

Adapun hasil laju korosi dalam pengujian ini bertujuan untuk menganalisa laju korosi dengan masing masing arus Ampere.

**Tabel 4.2** Hasil Laju Korosi Terhadap Masing-Masing Arus  
**Arus (Ampere)**

60	90	120
		

Proses korosi dilakukan untuk mengetahui laju korosi dari spesimen dengan pelapis elektroda resin polyster dengan kuat arus yang berbeda yaitu. 60A, 90A, dan 120A. untuk larutan korosif yang digunakan adalah *demineral*. Selanjutnya akan diukur tingkat korosi dengan menggunakan *corrosion tester* untuk mendapatkan nilai laju korosi dari masing masing spesimen.

Untuk menghitung laju korosi peneliti menggunakan rumus :

$$CR = \frac{W \cdot K}{D \cdot A \cdot T}$$

Dimana :

CR : Laju korosi (*mm/year*)

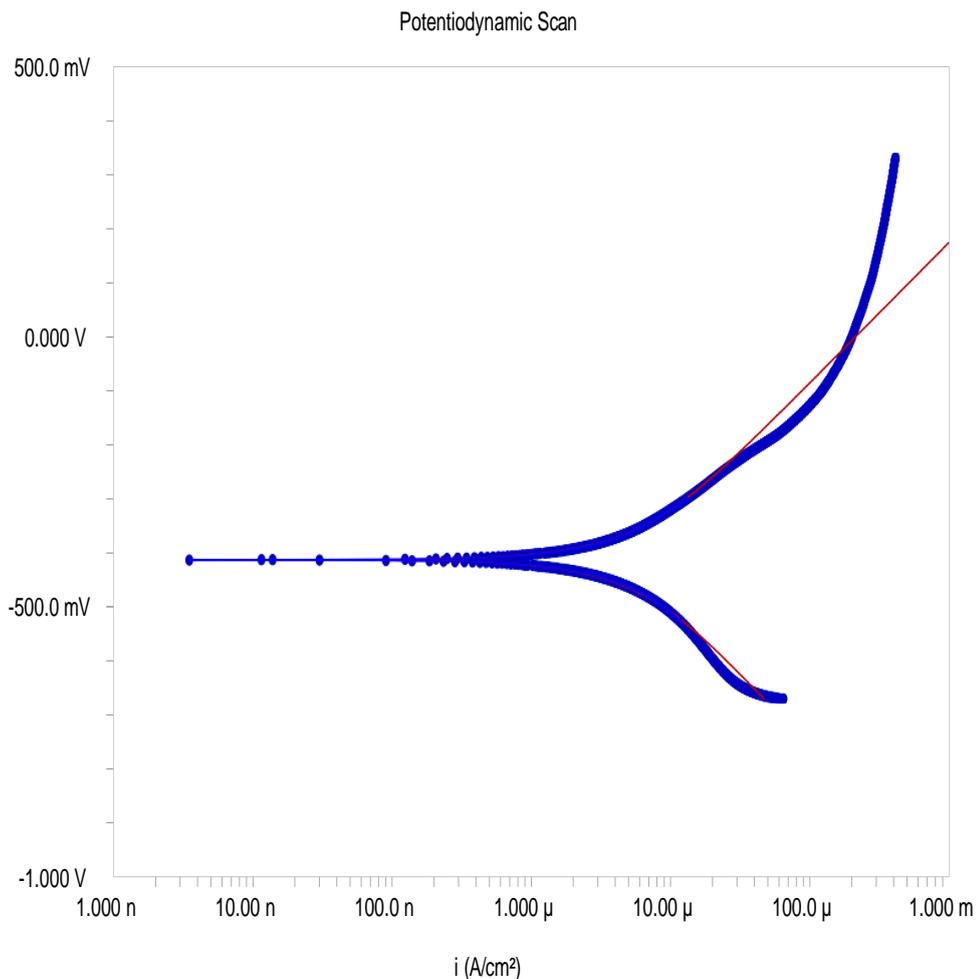
W : Kehilangan Masa

K : Konstanta ( $3.45 \times 10^6$ )

D : Densitas (*Gram/cm<sup>3</sup>*)

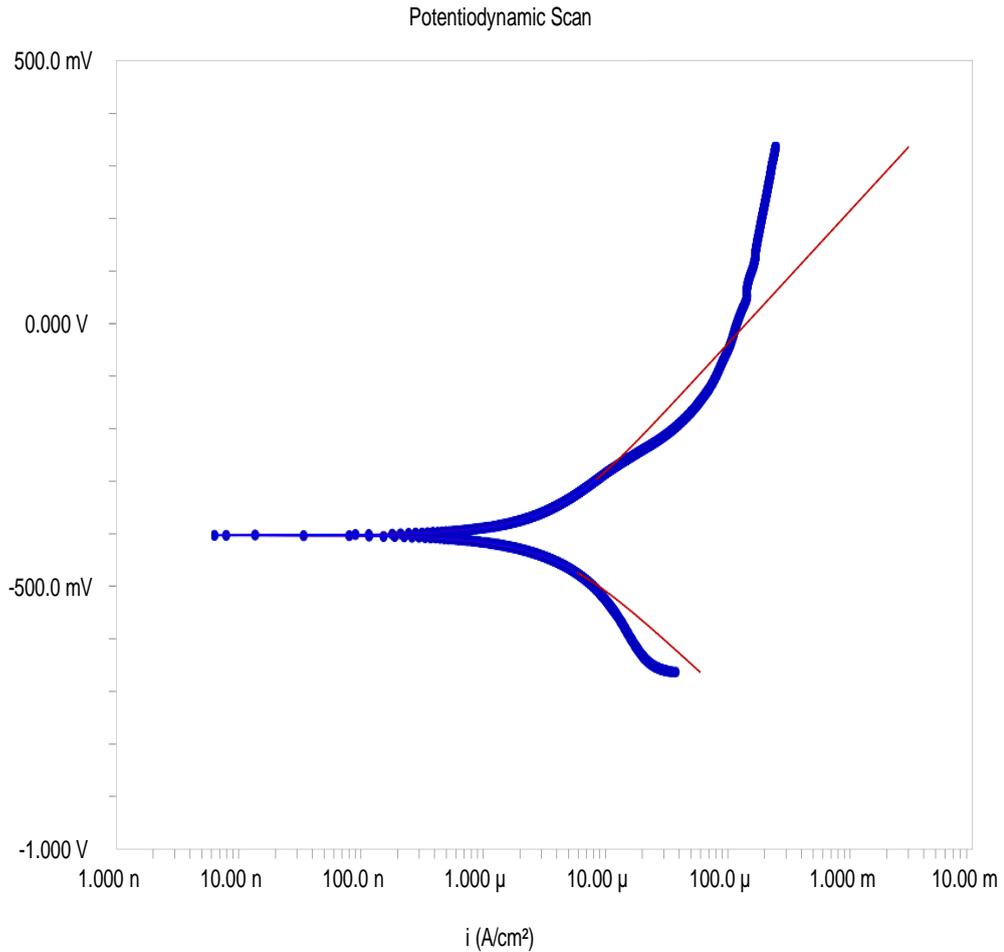
A : Luas Permukaan (*cm<sup>2</sup>*)

T : Waktu



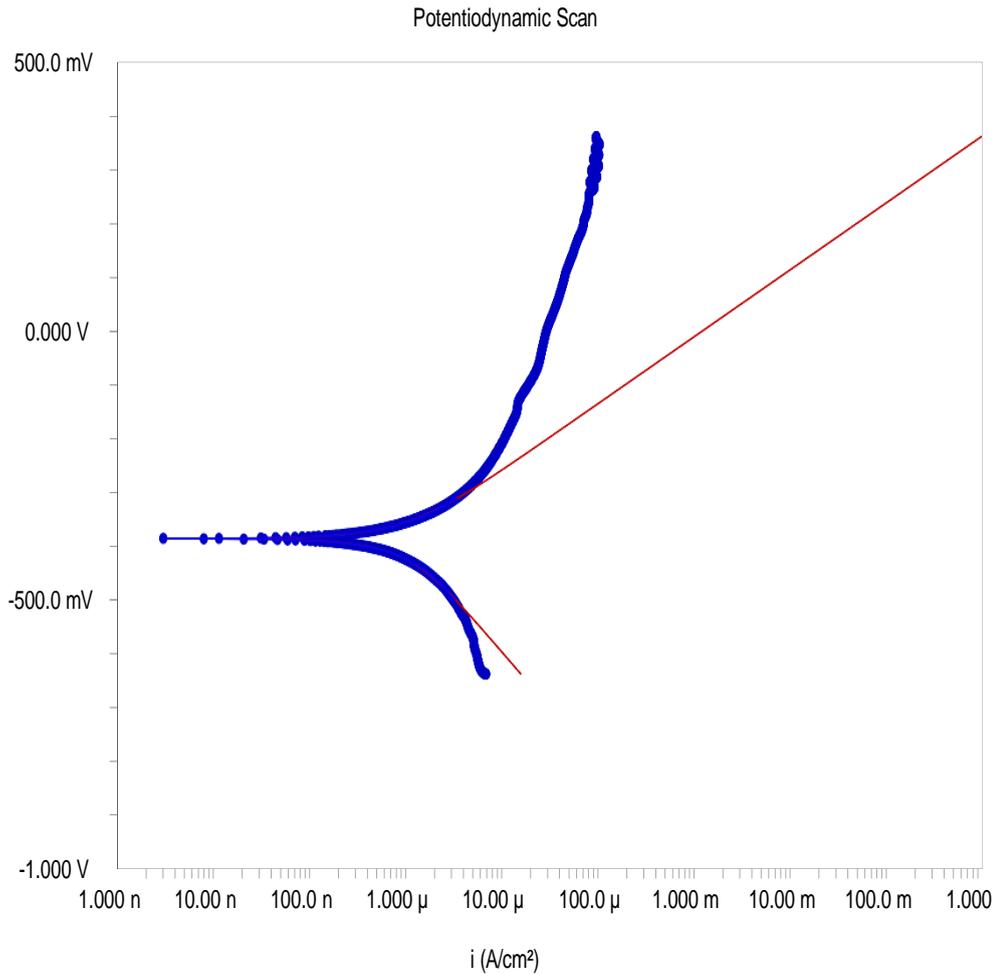
CURVE (PD BAJA KARBON (60)_ELSA 104449.DTA)	Fit 1 [Tafel]
<p>EXPERIMENTAL PARAMETERS</p> <p>Initial E (V): -0.25 vs. Eoc            Final E (V): 0.75 vs. Eoc            Potentiodynamic Scan            7/18/2023            11:27:55            Scan Rate (mV/s): 0.5            Sample Period (s): 1            Sample Area (cm<sup>2</sup>): 4.71            Density (g/cm<sup>3</sup>): 7.8            Equiv. Wt: 27.39            IR Comp: Off            Open Circuit (V): -0.4277945</p> <p>EXPERIMENTAL DETERMINATIONS</p> <p>BetaA (V/decade): 0.2597            BetaC (V/decade): 0.2752            Icorr (A): 5.53E-06            Ecorr (V): -0.412            Corrosion Rate (mpy): 2.499632</p>	<p>EXPERIMENTAL NOTES</p> <p>Kode Sampel : 4305-104449-1,            ar : air demin</p>

**Gambar 4.1** Grafik Laju Korosi Laju Korosi 60A



● CURVE (PD BAJA KARBON (90)_ELSA 104449.DTA)	— Fit 1 [Tafel]
<p>EXPERIMENTAL PARAMETERS</p> <p>Initial E (V): -0.25 vs. Eoc            Final E (V): 0.75 vs. Eoc            Potentiodynamic Scan            7/18/2023            13:02:40            Scan Rate (mV/s): 0.5            Sample Period (s): 1            Sample Area (cm<sup>2</sup>): 4.71            Density (g/cm<sup>3</sup>): 7.8            Equiv. Wt: 27.39            IR Comp: Off            Open Circuit (V): -0.4224092</p> <p>EXPERIMENTAL DETERMINATIONS</p> <p>BetaA (V/decade): 0.2534            BetaC (V/decade): 0.2146            Icorr (A): 3.65E-06            Ecorr (V): -0.403            Corrosion Rate (mpy): 1.650078</p>	<p>EXPERIMENTAL NOTES</p> <p>Kode Sampel : 4305-104449-2,            ar : air demin</p>

**Gambar 4.2** Grafik Laju Korosi 90A



● CURVE (PD BAJA KARBON (120)\_ELSA 104449.DTA) — Fit 1 [Tafel]

EXPERIMENTAL PARAMETERS

Initial E (V): -0.25 vs. Eoc  
 Final E (V): 0.75 vs. Eoc  
 Potentiodynamic Scan  
 7/18/2023  
 14:02:55  
 Scan Rate (mV/s): 0.5  
 Sample Period (s): 1  
 Sample Area (cm<sup>2</sup>): 4.71  
 Density (g/cm<sup>3</sup>): 7.8  
 Equiv. Wt: 27.39  
 IR Comp: Off  
 Open Circuit (V): -0.3960137

EXPERIMENTAL DETERMINATIONS

BetaA (V/decade): 0.1247  
 BetaC (V/decade): 0.208  
 Icorr (A): 9.81E-07  
 Ecorr (V): -0.385  
 Corrosion Rate (mpy): 0.4435229

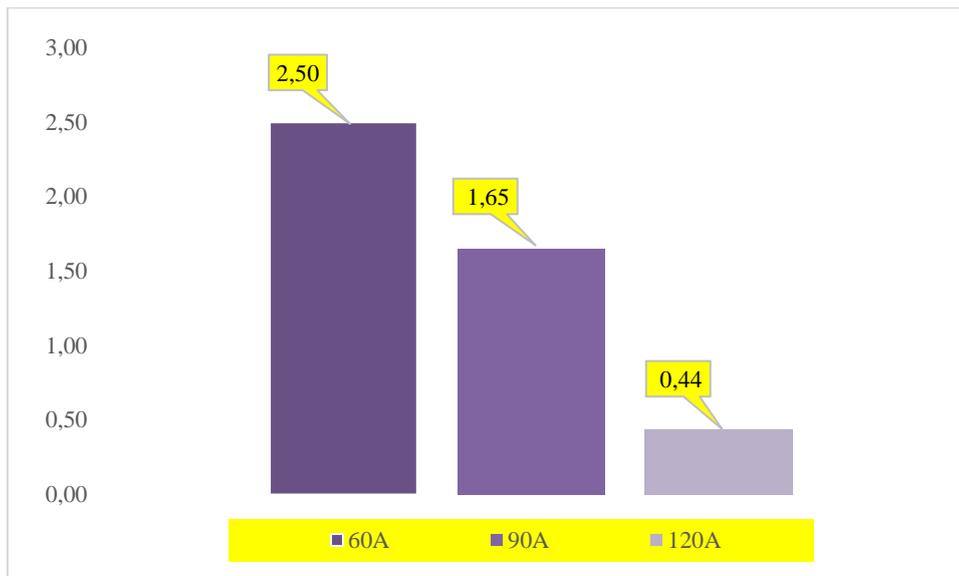
EXPERIMENTAL NOTES

Kode Sampel : 4305-104449-3,  
 ar : air demin

**Gambar 4.3** Grafik Laju Korosi 120A

Pada grafik diatas dari masing masing spesimen dengan arus yang berbeda memiliki nilai laju korosi yang berbeda yaitu spesimen dengan arus 60A memiliki nilai korosi paling tinggi yaitu 2.499632 (2.5), untuk spesimen dengan arus 90A memiliki nilai korosi sebesar 1.650078 (1.66) dan spesimen dengan arus 120A memiliki nilai paling rendah yaitu 0.4435229 (0.5).

Kemudian dilakukan analisa lebih langsung dengan menyajikan data grafik dengan grafik batang dibawah ini :



**Gambar 4.4** Grafik Batang Laju Korosi

Pada diagram batang diatas adalah nilai laju korosi dari masing masing spesimen yang di Las SMAW dengan arus yang berbeda yaitu 60A, 90A dan 120A lalu direndam dengan air demineral untuk mendapatkan nilai korosi. Nilai korosi pada setiap spesimen pada diagram batang tersebut adalah spesimen dengan arus 60A memiliki nilai korosi sebesar 2.50, untuk spesimen yang menggunakan arus 90A memiliki nilai korosi sebesar 1.65 dan spesimen yang menggunakan arus 120A memiliki nilai korosi sebesar 0.44. Kemudian dapat disimpulkan dengan data yang didapat yaitu semakin tinggi arus yang digunakan nilai laju korosi semakin kecil.

#### 4.5 Inspeksi visual Hasil Pengelasan

Untuk tujuan inspeksi visual pengelasan, hasil sambungan dari pengujian pengelasan basah di bawah air terhadap Baja API 5L X65 dilakukan dengan menggunakan pelapis elektrode. Tujuan dari inspeksi ini adalah untuk menemukan cacat pengelasan di permukaan proses pengelasan

yang dapat mempengaruhi hasil sifat mekanik sambungan pengelasan. Hasil visual dari inspeksi ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.5** Visual Hasil Las 60A



**Gambar 4.6** Visual Hasil Las 90A



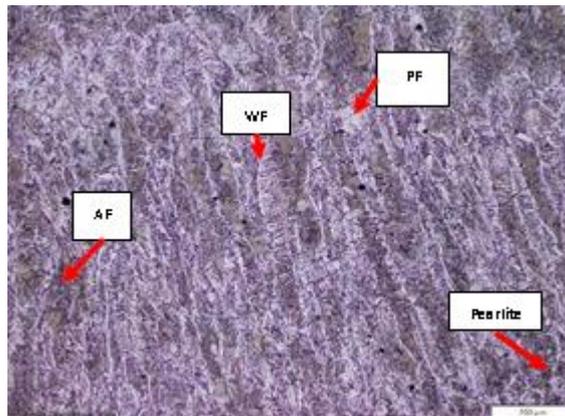
**Gambar 4.7** Visual Hasil Las 120A

Setelah proses pengelasan basah di bawah air dengan arus 60,90 dan 120 ampere terhadap baja API 5L X65, hasil visual menunjukkan cacat pengelasan seperti undercut, incomplete fusion, overlap, dan underfill. Untuk arus 60 ampere, terutama cacat las porosity, slag inclusion, dan incomplete fusion, disebabkan oleh sumber panas pengelasan yang tidak ideal, yang menyebabkan hasil yang tidak memuaskan.

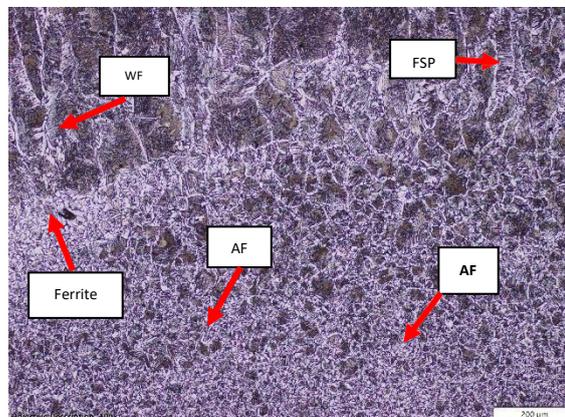
#### 4.6 Struktur Mikro

Pengujian mikrostruktur dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana hasil tes dan struktur berhubungan satu sama lain. Pengujian ini dilakukan menggunakan Olympus U-25LBA dengan pembesaran 100x. Daerah yang diamati dan dipelajari termasuk zona panas dasar logam yang terpengaruh (HAZ) dan weld logam dengan masing-masing variable arus yang digunakan.

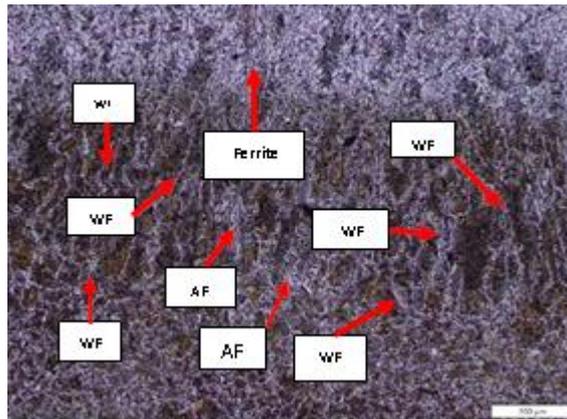
##### 1. *Weld Metal*



**Gambar 4.8** *Weld Arus 120 Ampere*

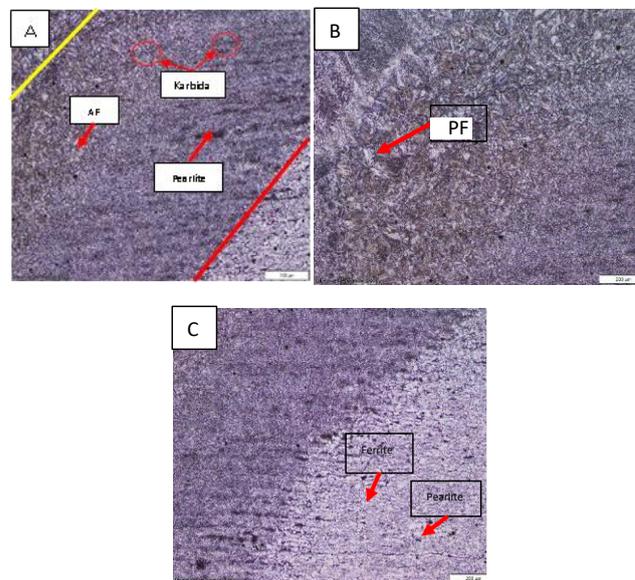


**Gambar 4.9** *Weld Metal Arus 90 Ampere*



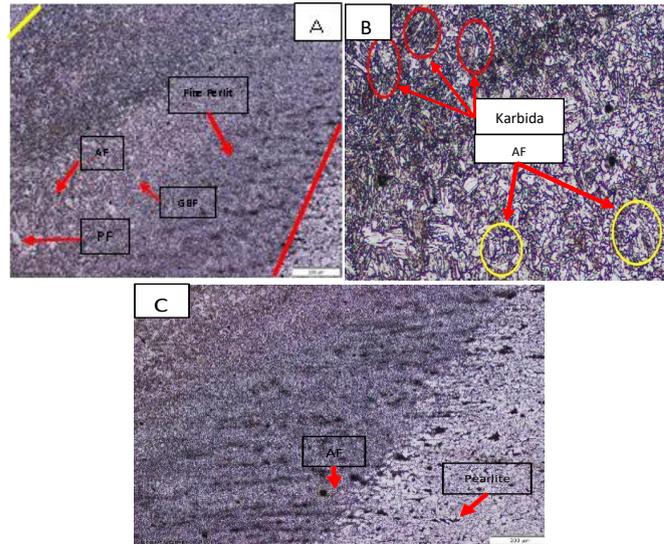
**Gambar 4.10** *Weld Metal* Arus 60 Ampere

## 2. *Head Affected Zone*

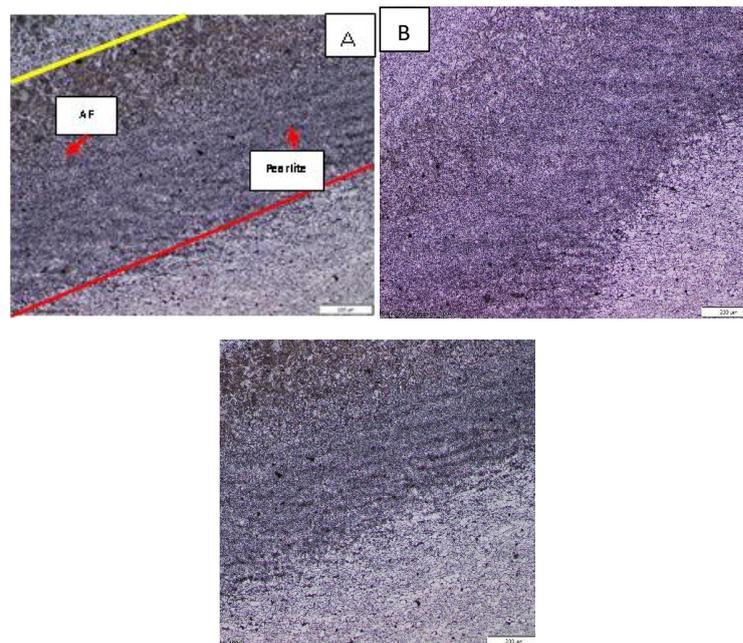


**Gambar 4.11** A) Struktur Mikro Arus 120A, B) Perbatasan *Weld Metal* dan HAZ, C) Perbatasan HAZ dan *Base Metal*.

Sebagai hasil dari pengujian struktur mikro yang dilakukan pada arus 120 ampere ungu di daerah logam panas, struktur mikro termasuk acicular ferrite, widmanstatten ferrite, polygonal ferrite, dan pearlite. Di daerah yang terpengaruh oleh panas, struktur mikro termasuk fine ferrite dan fine pearlite.



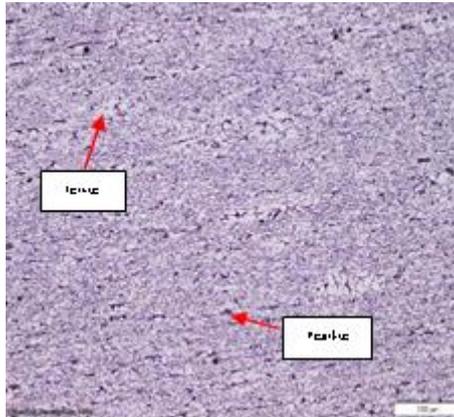
**Gambar 4.12** Struktur Mikro Arus 90 A: a).HAZ, b) Perbatasan *Weld Metal & HAZ*, c) Perbatasan *HAZ&Base Metal*



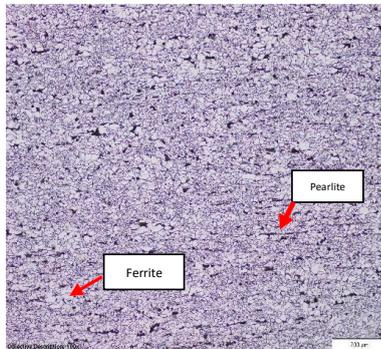
**Gambar 4.13** Struktur Mikro Arus 60 A: a).HAZ, b) Perbatasan *Weld Metal & HAZ*, c) Perbatasan *HAZ&Base Metal*

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa untuk daerah weld metal dengan arus 60 ampere, struktur mikro *ferrite*, *acicular ferrite*, dan *boundary grain ferrite* ditemukan. Pada daerah yang terkena panas, struktur mikro *ferrite* dan *pearlite* ditemukan.

### 3. Base Metal



**Gambar 4.14** Base Metal Arus 120A



**Gambar 4.15** Base Metal Arus 60A

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa widmanstatten ferrite, acicular ferrite, dan fine pearlite digunakan untuk daerah las metal dengan arus 90 Ampere. Untuk daerah yang terpengaruh oleh panas, digunakan stuktur mikro carbide, polygonal ferrite, dan fine pearlite.

#### 4.7 Analisa Hasil Struktur Mikro Dan Laju Korosi

Adapun analisa struktur mikro dan laju korosi dari masing masing spesimen yang diberikan ampere yang berbeda setiap spesimen yang diberika ampere memiliki struktur mikro dan hasil laju korosi yang berbeda.

Spesimen yang diambil dengan arus 60 amper menunjukkan struktur mikro dengan daerah weld metal yang terdiri dari ferrite, acicular ferrite, dan boundary grain ferrite. Struktur ferrite dan pearlite juga ditemukan di daerah yang terkena panas. Laju korosi untuk arus 90 ampere adalah 2.50 mpy.

Menurut hasil pengujian struktur mikro pada arus 90 ampere, struktur mikro untuk daerah las metal termasuk widmanstatten ferrite, acicular ferrite, dan fine pearlite. Untuk daerah yang terpengaruh oleh panas, struktur mikro karbida mencapai nilai 1.65 mpy untuk pengujian laju korosi pada arus 90 A.

Spesimen yang diberikan arus 120 ampere menunjukkan struktur mikro di daerah weld metal. Struktur mikro termasuk acicular ferrite, widmanstatten ferrite, polygonal ferrite, dan pearlite. Di daerah yang terkena panas, terdapat fine ferrite dan fine pearlite. Selain itu, nilai laju korosi untuk sampel ini adalah 0.44mpy.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan yaitu Analisa Laju Korosi dan struktur mikro pada spesimen Pengelasan Dalam Air Menggunakan Elektroda Lapisan Resin Pada Baja Api 5l X65 dengan resin yang digunakan adalah resin polyster dan melakukan pengujian laju korosi dengan menggunakan cairan demineral sebagai cairan korosif untuk menguji arus yang terbaik untuk dipakai pada metode *underwater welding* dengan menggunakan Las SMAW.

Untuk spesimen yang menggunakan arus 60 amper memiliki struktur mikro dengan daerah *weld metal* berupa *ferrite*, *acicular ferrite*, *grain boundari ferrite*. Pada daerah *heat affected zone* didapatkan struktur *ferrite* dan *pearlite*, hasil pengujian struktur mikro pada arus 90 ampere didapatkan struktur mikro untuk daerah *weld metal* yaitu *widmanstatten ferrite*, *acicular ferrite*. *Heat affected zone* didapatkan struktur mikro berupa *acicular ferrite*, *polygonal ferrite* dan *fine pearlite*, adapun untuk daerah perbatasan daerah las dan *weld metal* didapatkan stuktur mikro *carbide*, Struktur mikro yang didapatkan dari spesimen dengan diberikan arus 120 ampere memiliki struktur mikro yaitu unguj daerah *Weld Metal*, didapatkan stuktur mikro berupa *acicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *polygonal ferrite* dan *pearlite*. *Heat affected zone* didapatkan stuktur mikro berupa *fine ferrite* dan *fine pearlite*.

Hasil pengujian laju korosi pada masing masing spesimen dengan variasi arus amper diberikan adalah spesimen dengan arus amper 60 memilik nilai laju korosi sebesar 2.50mpy, untuk spesimen arus amper 90A memiliki nilai 1.65 mpy dan untuk spesimen dengan arus 120 memiliki nilai laju korosi 0.44 mpy.

Maka analisa dapat disimpulkan bahwa tinggi arus ampere yang diberikan pada spesimen memiliki struktur yang berbeda dan berpengaruh pada nilai laju korosi, hal ini dapat terlihat pada masing masing nilai yang didapat oleh spesimen yang diberikan arus ampere yang berbeda yaitu spesimen yang menggunakan arus 60A memiliki nilai korosi paling tinggi yaitu 2.50mpy, lalu untuk spesimen yang menggunakan arus 90A memiliki nilai korosi 1.65 dan nilai korosi paling rendah didapatkan pada spesimen yang diberikan arus 120A yaitu 0.44mpy

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan ada beberapa saran yang berguna untuk peneliti *underwater wet welding* selanjutnya:

1. Untuk dilakukan pengujian *nondestructive testing* radiography, yang dimana untuk mengetahui cacat pengelasan yang terjadi dibawah permukaan atas benda yang di Las.
2. Untuk dilakukan penelitian dengan variasi air laut untuk melihat perbedaan dengan penelitian yang diteliti menggunakan air tawar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y. K., Arief, I. S., Teknik, J., Perkapalan, S., & Kelautan, F. T. (2015). Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Korosi*, 4(1), 1–5.
- Bayuseno, A. P. (2009). Analisa Laju Korosi Pada Baja Untuk Material Kapal Dengan Dan Tanpa Perlindungan Cat. *Rotasi*, 11(3), 32–37.
- Brilliano, A. E. (n.d.). *ANALISIS PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KETEBALAN LAPISAN DAN LAJU KOROSI HASIL ELEKTROPLATING BAJA KARBON RENDAH ST41 DENGAN PELAPIS NIKEL*. *Baja, E., Rendah, K., Dengan, S. T., Nikel, P., Mesin, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Mesin, J. T., Teknik, F., Surabaya, U. N. (n.d.). Brilliano Ergie Arievtya Novi Sukma Drastiawati Abstrak. 67–74., 67–74.*
- Fecl, K., Anggaretno, G., & Rochani, I. (2012). *Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65*. 1(1), 3–7.
- Pattireu Yanuar, A. P., Pratikno, H., & Titah, H. S. (2017). Pengaruh Penambahan M, M. Z., & Magga, R. (2023). *Analisis Laju Korosi Dengan Penambahan Pompa Pada Baja*. July 2017.
- C. D., Slater, P. R., Hare, S. D., Simmons, M. J. H., & Kendrick, E. (2021). A review of metrology in lithium-ion electrode coating processes. *Materials and Design*, 209, 109971. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109971>
- w, K. J., Yaroslavtsev, A. B., & Stenina, I. A. (2020). Carbon coating of electrode materials for lithium-ion batteries. *Surface Innovations*, 9(2–3), 92–110. <https://doi.org/10.1680/jsuin.20.00044>
- Rauf, F. A., Lumintang, R., Mesin, T., Sam, U., & Manado, R. (2013). *ANALISIS LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON DENGAN MENGGUNAKAN AIR LAUT DAN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*.
- Antika, A. P., Mulyatno, I. P., & Santosa, A. W. B. (2019). Jurnal teknik perkapalan. *Teknik Perkapalan*, 7(2), 152–160. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/26745>
- Ali, M. S., Pratikno, H., & Dhanistha, W. L. (2019). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Blasting Dengan Coating Campuran Epoxy dan Aluminium Serbuk

- terhadap Kekuatan Adhesi, Prediksi Laju Korosi, dan Morfologi pada Plat Baja ASTM A36. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1).  
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i1.39068>
- Jihan Alldzi Khoir, Untung Budiarto, O. M. (2020). Analisa Pengaruh Penerapan Coating dan Variasi Ukuran Grit Aluminium Oxide pada Proses Blasting Terhadap Ketahanan Laju Korosi dan Daya Rekat Adhesi. *Teknik Perkapalan*, 8(3), 84.
- Chen, Z., & Zhou, Y. (2006). Surface modification of resistance welding electrode by electro-spark deposited composite coatings: Part I. Coating characterization. *Surface and Coatings Technology*, 201(3–4), 1503–1510.  
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.02.015>
- Paundra, F., Juan, A., Elmiawan, P., & Yunesti, P. (2021). The Penetration Depth of Weld Metal in Underwater Welding with Variations in Water Depth and Water Flow Velocity. *Jurnal Mechanical*, 12(1), 29–33.
- Surojo, E., Putri, E. D. W. S., Budiana, E. P., & Triyono. (2020). Recent developments on underwater welding of metallic material. *Procedia Structural Integrity*, 27(2019), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.07.003>
- Wisma, S. (2020). Pengaruh Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada Mild Steel S45C di Daerah HAZ dengan Pengujian Metalografi. *Journal Mechanical and Manufacture Technology*, 1(1), 12–17.
- Putra, A. A., Pratikno, H., & Ikhwan, H. (2019). Analisis Prediksi Laju Korosi Pada SMAW Underwater Wet Welding Weldjoint Baja ASTM A36 Karena Pengaruh Variasi Coating Elektroda dan Heat Input. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1).  
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i1.38287>
- Muhayat, N., Matien, Y. A., Sukanto, H., Saputro, Y. C. N., & Triyono. (2020). Fatigue life of underwater wet welded low carbon steel SS400. *Heliyon*, 6(2), e03366. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03366>

## LAMPIRAN

### PERHITUNHAN LAJU KOROSI

Dimana peneliti menggunakan rumus :

$$CR = \frac{W \cdot K}{D \cdot A \cdot T}$$

#### **Keterangan**

CR : Laju korosi (*mm/year*)

W : Kehilangan Masa

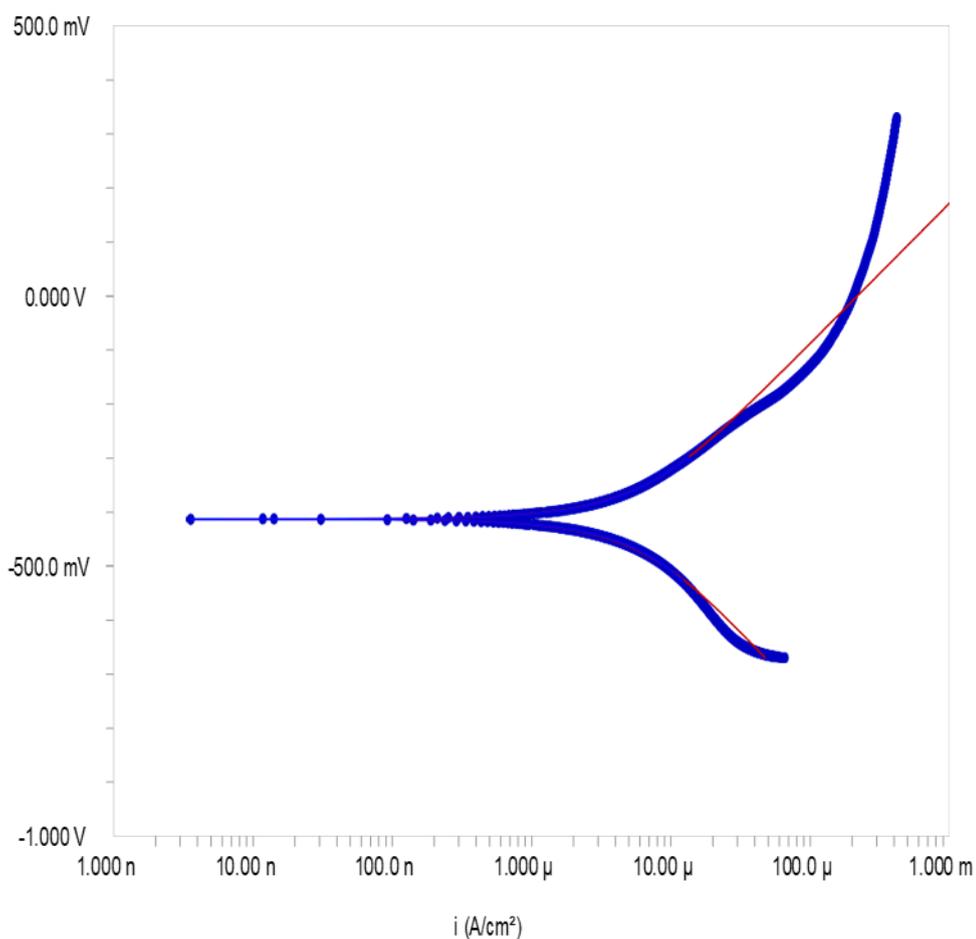
K : Konstanta ( $3.45 \times 10^6$ )

D : Densitas (*Gram/cm<sup>3</sup>*)

A : Luas Permukaan (*cm<sup>2</sup>*)

T : Waktu

Potentiodynamic Scan



● CURVE (PD BAJA KARBON (60)\_ELSA 104449.DTA)

— Fit 1 [Tafel]

EXPERIMENTAL PARAMETERS

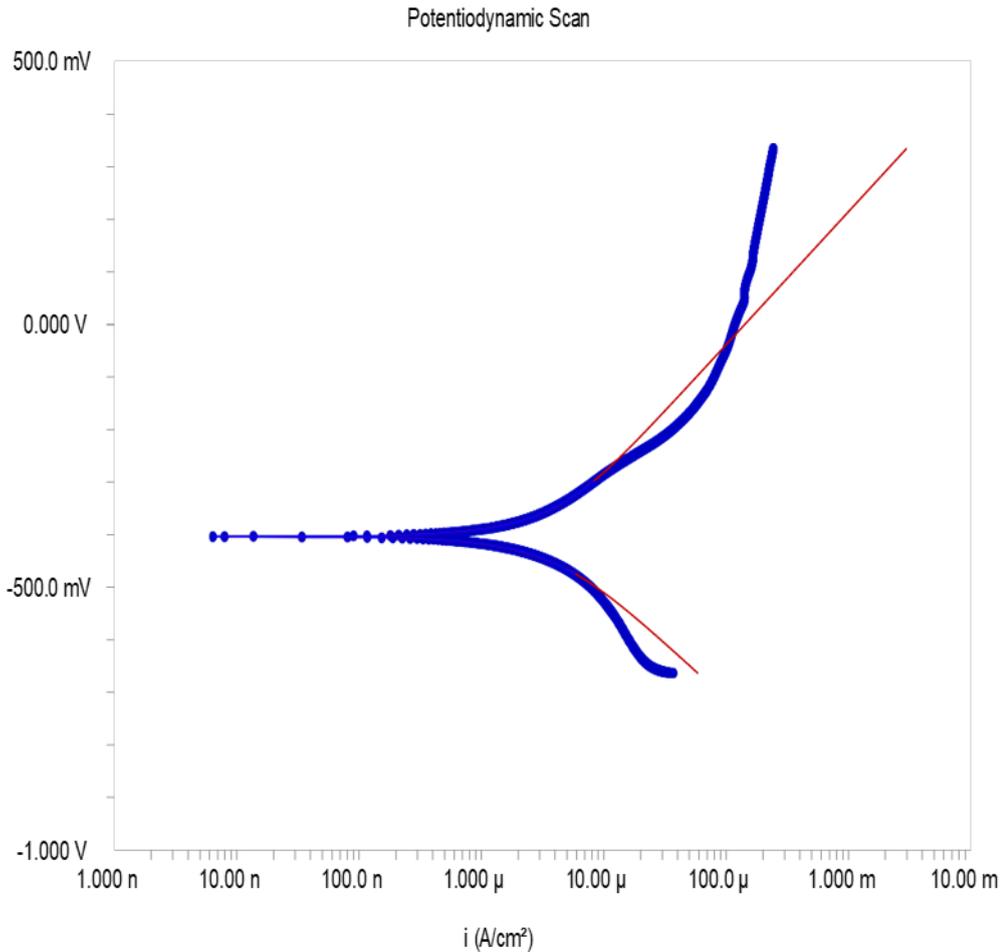
Initial E (V): -0.25 vs. Eoc  
 Final E (V): 0.75 vs. Eoc  
 Potentiodynamic Scan  
 7/18/2023  
 11:27:55  
 Scan Rate (mV/s): 0.5  
 Sample Period (s): 1  
 Sample Area (cm<sup>2</sup>): 4.71  
 Density (g/cm<sup>3</sup>): 7.8  
 Equiv. Wt: 27.39  
 IR Comp: Off  
 Open Circuit (V): -0.4277945

EXPERIMENTAL DETERMINATIONS

BetaA (V/decade): 0.2597  
 BetaC (V/decade): 0.2752  
 Icorr (A): 5.53E-06  
 Ecorr (V): -0.412  
 Corrosion Rate (mpy): 2.499632

EXPERIMENTAL NOTES

Kode Sampel : 4305-104449-1,  
 ar : air demin



● CURVE (PD BAJA KARBON (90)\_ELSA 104449.DTA)      — Fit 1 [Tafel]

EXPERIMENTAL PARAMETERS

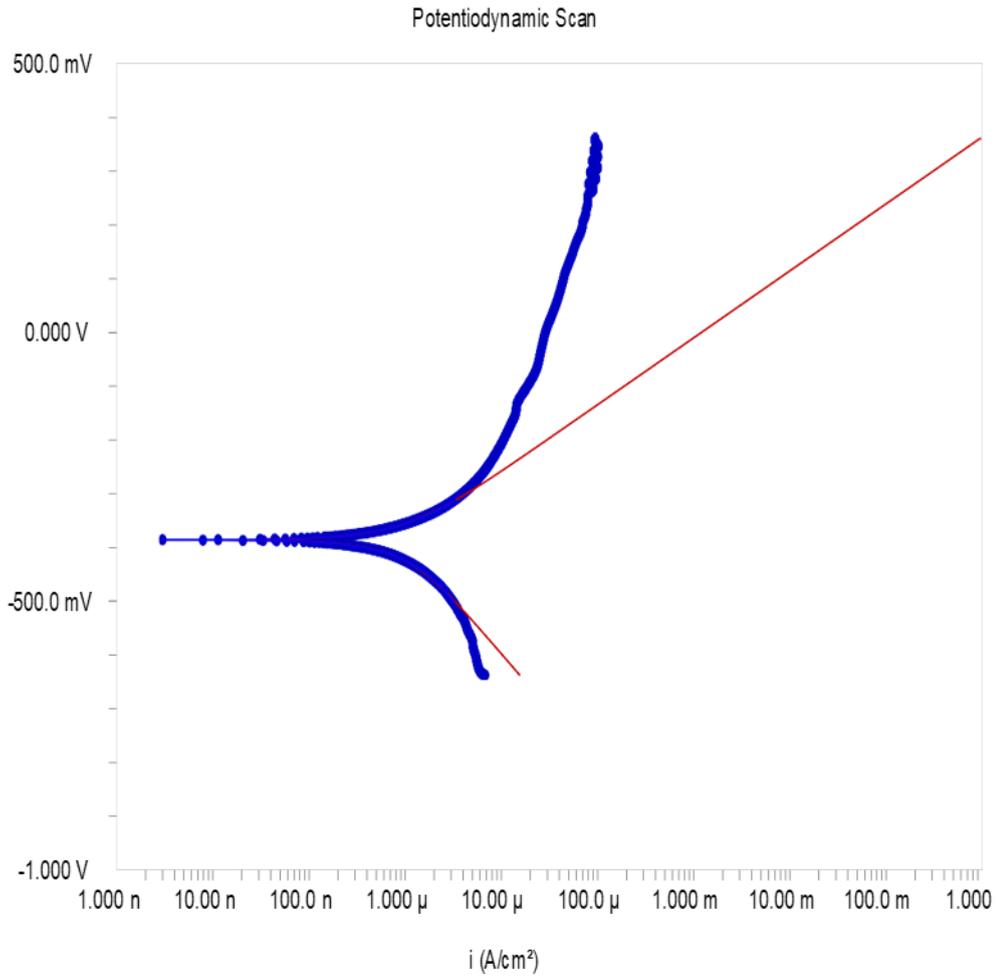
Initial E (V): -0.25 vs. Eoc  
 Final E (V): 0.75 vs. Eoc  
 Potentiodynamic Scan  
 7/18/2023  
 13:02:40  
 Scan Rate (mV/s): 0.5  
 Sample Period (s): 1  
 Sample Area (cm<sup>2</sup>): 4.71  
 Density (g/cm<sup>3</sup>): 7.8  
 Equiv. Wt: 27.39  
 IR Comp: Off  
 Open Circuit (V): -0.4224092

EXPERIMENTAL DETERMINATIONS

BetaA (V/decade): 0.2534  
 BetaC (V/decade): 0.2146  
 Icorr (A): 3.65E-06  
 Ecorr (V): -0.403  
 Corrosion Rate (mpy): 1.650078

EXPERIMENTAL NOTES

Kode Sampel : 4305-104449-2,  
 ar : air demin



● CURVE (PD BAJA KARBON (120)\_ELSA 104449.DTA) — Fit 1 [Tafel]

EXPERIMENTAL PARAMETERS

Initial E (V): -0.25 vs. Eoc  
 Final E (V): 0.75 vs. Eoc  
 Potentiodynamic Scan  
 7/18/2023  
 14:02:55  
 Scan Rate (mV/s): 0.5  
 Sample Period (s): 1  
 Sample Area (cm<sup>2</sup>): 4.71  
 Density (g/cm<sup>3</sup>): 7.8  
 Equiv. Wt: 27.39  
 IR Comp: Off  
 Open Circuit (V): -0.3960137

EXPERIMENTAL DETERMINATIONS

BetaA (V/decade): 0.1247  
 BetaC (V/decade): 0.208  
 Icorr (A): 9.81E-07  
 Ecorr (V): -0.385  
 Corrosion Rate (mpy): 0.4435229

EXPERIMENTAL NOTES

Kode Sampel : 4305-104449-3,  
 ar : air demin